

531814

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
6. Mai 2004 (06.05.2004)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2004/038333 A1

(51) Internationale Patentklassifikation⁷: **G01C 19/56**

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2003/011090

(22) Internationales Anmeldedatum:
7. Oktober 2003 (07.10.2003)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
102 48 735.9 18. Oktober 2002 (18.10.2002) DE

(71) Anmelder (*für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US*): LITEF GMBH [DE/DE]; Lörracher Str. 18, 79115 Freiburg (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (*nur für US*): SCHRÖDER, Werner [DE/DE]; Büsägestr. 14, 77955 Ettenheim (DE).

(74) Anwalt: MÜLLER, Frithjof, E.; Müller . Hoffmann & Partner, Innere Wiener Strasse 17, 81667 München (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (*national*): CA, CZ, JP, PL, US.

(84) Bestimmungsstaaten (*regional*): europäisches Patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR).

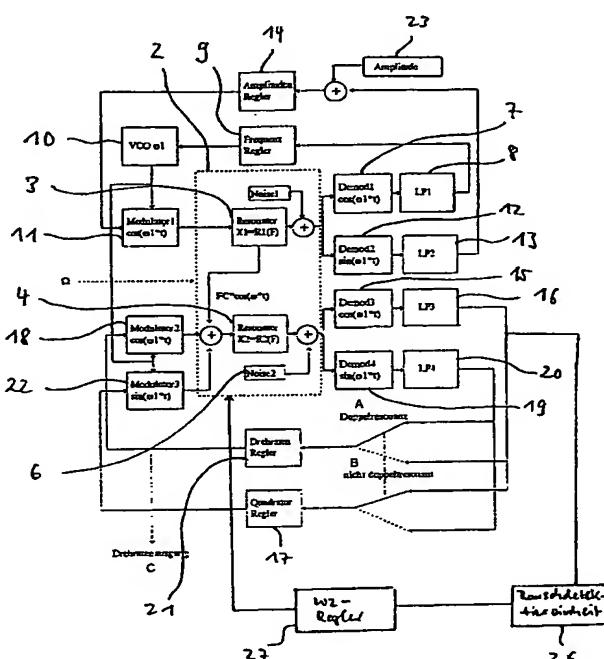
Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD FOR ELECTRONICALLY ADJUSTING THE READOUT OSCILLATION FREQUENCY OF A CORIOLIS GYRO

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUR ELEKTRONISCHEN ABSTIMMUNG DER AUSLESE SCHWINGUNGSFREQUENZ EINES CORIOLISKREISELS



- 14... AMPLITUDE CONTROLLER
- 9... FREQUENCY CONTROLLER
- 21... ROTATIONAL SPEED CONTROLLER
- 17... QUADRATURE CONTROLLER
- 26... NOISE DETECTION UNIT
- A... DOUBLE RESONANCE
- B... NOT DOUBLE RESONANT
- C... ROTATIONAL SPEED OUTPUT

(57) Abstract: Disclosed is a method for electronically adjusting the frequency of the readout oscillation to the frequency of the excitation oscillation in a Coriolis gyro (1'). According to the inventive method, the resonator (2) of the Coriolis gyro (1') is impinged upon by means of an interfering force such that the excitation oscillation remains essentially uninfluenced, the readout oscillation being modified in such a way that a readout signal representing the readout oscillation contains a corresponding interference portion. The interfering force is defined as the force generated by the noise in the readout signal. The frequency of the readout oscillation is regulated such that the level of the interference portion contained in the readout signal becomes minimal.

(57) Zusammenfassung: Beim Verfahren zur elektronischen Abstimmung der Frequenz der Ausleseschwingung auf die Frequenz der Anregungsschwingung in einem Corioliskreisel (1') gemäss der Erfindung wird der Resonator (2) des Corioliskreisels (1') mittels einer Störkraft so beaufschlagt, dass die Anregungsschwingung im Wesentlichen unbeeinflusst bleibt, wobei die Ausleseschwingung so geändert wird, dass ein die Ausleseschwingung repräsentierendes Auslesesignal einen entsprechenden Störanteil enthält. Die Störkraft ist hierbei definiert als diejenige Kraft, die durch das Signalrauschen im Auslesesignal hervorgerufen wird. Die Frequenz der Ausleseschwingung wird so geregelt, dass die Stärke des im Auslesesignal enthaltenen Störanteils minimal wird.

WO 2004/038333 A1



- vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eintreffen

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("*Guidance Notes on Codes and Abbreviations*") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

- 1 -

1 **Verfahren zur elektronischen Abstimmung der
Ausleseschwingfrequenz eines Corioliskreisels**

5 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur elektronischen Abstimmung der Fre-
quenz der Ausleseschwingung auf die Frequenz der Anregungsschwingung
bei einem Corioliskreisel.

10 Corioliskreisel (auch Vibrationskreisel genannt) werden in zunehmendem
Umfang zu Navigationszwecken eingesetzt; sie weisen ein Massensystem auf,
das in Schwingungen versetzt wird. Diese Schwingung ist in der Regel eine
Überlagerung einer Vielzahl von Einzelschwingungen. Diese Einzelschwin-
gungen des Massensystems sind zunächst voneinander unabhängig und las-
sen sich jeweils abstrakt als "Resonatoren" auffassen. Zum Betrieb eines Vi-
brationskreisels sind wenigstens zwei Resonatoren erforderlich: einer dieser
15 Resonatoren (erster Resonator) wird künstlich zu Schwingungen angeregt,
die im Folgenden als "Anregungsschwingung" bezeichnet wird. Der andere
Resonator (zweiter Resonator) wird nur dann zu Schwingungen angeregt,
wenn der Vibrationskreisel bewegt/gedreht wird. In diesem Fall treten näm-
lich Corioliskräfte auf, die den ersten Resonator mit dem zweiten Resonator
20 koppeln, der Anregungsschwingung des ersten Resonators Energie entneh-
men und diese auf die Ausleseschwingung des zweiten Resonators übertra-
gen. Die Schwingung des zweiten Resonators wird im Folgenden als "Ausle-
seschwingung" bezeichnet. Um Bewegungen (insbesondere Drehungen) des
Corioliskreisels zu ermitteln, wird die Ausleseschwingung abgegriffen und
25 ein entsprechendes Auslesesignal (z. B. das Ausleseschwingungs-Abgriff-
signal) daraufhin untersucht, ob Änderungen in der Amplitude der Auslese-
schwingung, die ein Maß für die Drehung des Corioliskreisels darstellen,
aufgetreten sind. Corioliskreisel können sowohl als Open-Loop-System als
auch als Closed-Loop-System realisiert werden. In einem Closed-Loop-Sy-
stem wird über jeweilige Regelkreise die Amplitude der Ausleseschwingung
30 fortlaufend auf einen festen Wert – vorzugsweise null – rückgestellt.

35 Im Folgenden wird zur weiteren Verdeutlichung der Funktionsweise eines
Corioliskreisels unter Bezugnahme auf Figur 2 ein Beispiel eines Coriolis-
kreisels in Closed-Loop-Ausführung beschrieben.

Ein solcher Corioliskreisel 1 weist ein in Schwingungen versetzbares Mas-

- 2 -

1 sensystem 2 auf, das im Folgenden auch als "Resonator" bezeichnet wird.
Diese Bezeichnung ist zu unterscheiden von den oben erwähnten "abstrakten"
5 Resonatoren, die Einzelschwingungen des "echten" Resonators darstellen.
Wie bereits erwähnt, kann der Resonator 2 als System aus zwei "Reso-
natoren" (erster Resonator 3 und zweiter Resonator 4) aufgefasst werden.
Sowohl der erste als auch der zweite Resonator 3, 4 sind jeweils an einen
Kraftgeber (nicht gezeigt) und an ein Abgriffssystem (nicht gezeigt) gekop-
pelt. Das Rauschen, das durch die Kraftgeber und die Abgriffssysteme er-
zeugt wird, ist hier durch Noise1 (Bezugszeichen 5) und Noise2 (Bezugszei-
10 chen 6) schematisch angedeutet.

Der Corioliskreisel 1 weist des Weiteren vier Regelkreise auf:

Ein erster Regelkreis dient zur Regelung der Anregungsschwingung (d.h. der
15 Frequenz des ersten Resonators 3) auf eine feste Frequenz (Resonanzfre-
quenz). Der erste Regelkreis weist einen ersten Demodulator 7, ein erstes
Tiefpassfilter 8, einen Frequenzregler 9, einen VCO ("Voltage Controlled
Oscillator") 10 und einen ersten Modulator 11 auf.

20 Ein zweiter Regelkreis dient zur Regelung der Anregungsschwingung auf
eine konstante Amplitude und weist einen zweiten Demodulator 12, ein
zweites Tiefpassfilter 13 und einen Amplitudenregler 14 auf.

Ein dritter und ein vierter Regelkreis dienen zur Rückstellung derjenigen
25 Kräfte, die die Ausleseschwingung anregen. Dabei weist der dritte Regelkreis
einen dritten Demodulator 15, ein drittes Tiefpassfilter 16, einen Quadratur-
regler 17 und einen zweiten Modulator 18 auf. Der vierte Regelkreis enthält
einen vierten Demodulator 19, ein vierthes Tiefpassfilter 20, einen Drehrates-
regler 21 und einen dritten Modulator 22.

30 Der erste Resonator 3 wird mit dessen Resonanzfrequenz ω_1 angeregt. Die
resultierende Anregungsschwingung wird abgegriffen, mittels des ersten De-
modulators 7 in Phase demoduliert, und ein demoduliertes Signalanteil wird
dem ersten Tiefpassfilter 8 zugeführt, der daraus die Summenfrequenzen
35 entfernt. Das abgegriffene Signal wird im Folgenden auch als Anregungs-
schwingungs-Abgriffssignal bezeichnet. Ein Ausgangssignal des ersten Tief-
passfilters 8 beaufschlägt einen Frequenzregler 9, der in Abhängigkeit des

- 3 -

1 ihm zugeführten Signals den VCO 10 so regelt, dass die In-Phase-Kompo-
nente im Wesentlichen zu Null wird. Dazu gibt der VCO 10 ein Signal an den
ersten Modulator 11, der seinerseits einen Kraftgeber so steuert, dass der
erste Resonator 3 mit einer Anregungskraft beaufschlagt wird. Ist die In-
5 Phase-Komponente Null, so schwingt der erste Resonator 3 auf seiner Reso-
nanzfrequenz ω_1 . Es sei erwähnt, dass sämtliche Modulatoren und Demodu-
latoen auf Basis dieser Resonanzfrequenz ω_1 betrieben werden.

Das Anregungsschwingungs-Abgriffssignal wird des Weiteren dem zweiten Re-
10 gelkreis zugeführt und durch den zweiten Demodulator 12 demoduliert, des-
sen Ausgabe das zweite Tiefpassfilter 13 passiert, dessen Ausgangssignal wiederum dem Amplitudenregler 14 zugeführt wird. In Abhängigkeit dieses Signals und eines Soll-Amplitudengebers 23 regelt der Amplitudenregler 14 den ersten Modulator 11 so, dass der erste Resonator 3 mit einer konstan-
15 ten Amplitude schwingt (d.h. die Anregungsschwingung weist eine konstante Amplitude auf).

Wie bereits erwähnt wurde, treten bei Bewegung/Drehungen des Corioliskreises 1 Corioliskräfte – in der Zeichnung durch den Term $FC \cdot \cos(\omega_1 \cdot t)$ an-
20 gedeutet – auf, die den ersten Resonator 3 mit dem zweiten Resonator 4 kop-
peln und damit den zweiten Resonator 4 zum Schwingen anregen. Eine re-
sultierende Ausleseschwingung der Frequenz ω_2 wird abgegriffen, sodass ein entsprechendes Ausleseschwingungs-Abgriffssignal (Auslesesignal) sowohl dem dritten als auch dem vierten Regelkreis zugeführt wird. Im dritten Re-
25 gelkreis wird dieses Signal durch den dritten Demodulator 15 demoduliert, Summenfrequenzen durch das dritte Tiefpassfilter 16 entfernt und das tief-
passgefilterte Signal dem Quadraturregler 17 zugeführt, dessen Ausgangs-
signal den dritten Modulator 22 so beaufschlagt, dass entsprechende Qua-
draturanteile der Ausleseschwingung rückgestellt werden. Analog hierzu
30 wird im vierten Regelkreis das Ausleseschwingungs-Abgriffssignal durch den vierten Demodulator 19 demoduliert, durchläuft das vierte Tiefpassfilter 20, und ein entsprechend tiefpassgefiltertes Signal beaufschlagt einerseits den Drehratenregler 21, dessen Ausgangssignal proportional zur momentanen Drehrate ist und als Drehraten-Messergebnis auf einen Drehratenausgang
35 24 gegeben wird, und andererseits den zweiten Modulator 18, der entspre-
chende Drehratenanteile der Ausleseschwingung rückstellt.

- 4 -

- 1 Ein Corioliskreisel 1 wie oben beschrieben kann sowohl doppelresonant als auch nichtdoppelresonant betrieben werden. Wird der Corioliskreisel 1 doppelresonant betrieben, so ist die Frequenz ω_2 der Ausleseschwingung annähernd gleich der Frequenz ω_1 der Anregungsschwingung, wohingegen im
5 nichtdoppelresonanten Fall die Frequenz ω_2 der Ausleseschwingung verschieden von der Frequenz ω_1 der Anregungsschwingung ist. Im Fall der Doppelresonanz beinhaltet das Ausgangssignal des vierten Tiefpassfilters 20 entsprechende Information über die Drehrate, im nichtdoppelresonanten Fall dagegen das Ausgangssignal des dritten Tiefpassfilters 16. Um zwischen
10 den unterschiedlichen Betriebsarten doppelresonant/nichtdoppelresonant umzuschalten, ist ein Doppelschalter 25 vorgesehen, der die Ausgänge des dritten und vierten Tiefpassfilters 16, 20 wahlweise mit dem Drehratenregler 21 und dem Quadraturregler 17 verbindet.
- 15 Wenn der Corioliskreisel 1 doppelresonant betrieben werden soll, muss – wie erwähnt – die Frequenz der Ausleseschwingung auf die Frequenz der Anregungsschwingung abgestimmt werden. Dies kann beispielsweise auf mechanischem Wege erfolgen, in dem Material am Massensystem (dem Resonator 2) abgetragen wird. Alternativ hierzu kann die Frequenz der Ausleseschwingung auch mittels eines elektrischen Feldes, in dem der Resonator 2 schwingbar gelagert ist, also durch Änderung der elektrischen Feldstärke, eingestellt werden. Damit ist es möglich, auch während des Betriebs des Corioliskreisels 1 eine elektronische Abstimmung der Frequenz der Ausleseschwingung auf die Frequenz der Anregungsschwingung durchzuführen.
20
- 25 Die der Erfindung zugrunde liegende Aufgabe ist es, ein Verfahren bereit zu stellen, mit dem in einem Corioliskreisel die Frequenz der Ausleseschwingung auf die Frequenz der Anregungsschwingung elektronisch abgestimmt werden kann.
- 30 Diese Aufgabe wird durch das Verfahren gemäß den Merkmalen des Patentanspruchs 1 gelöst. Ferner stellt die Erfindung einen Corioliskreisel gemäß Patentanspruch 6 bereit. Vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen des Erfindungsgedankens finden sich in jeweiligen Unteransprüchen.
35 Erfindungsgemäß wird bei einem Verfahren zur elektronischen Abstimmung der Frequenz der Ausleseschwingung auf die Frequenz der Anregungs-

1 schwingung in einem Corioliskreisel der Resonator des Corioliskreisels mit-
tels einer Störkraft so beaufschlagt, dass a) die Anregungsschwingung im
Wesentlichen unbeeinflusst bleibt, und b) die Ausleseschwingung so geän-
dert wird, dass ein die Ausleseschwingung repräsentierendes Auslesesignal
5 einen entsprechenden Störanteil enthält, wobei die Störkraft definiert ist als
diejenige Kraft, die durch das Signalrauschen im Auslesesignal hervorgeru-
fen wird. Die Frequenz der Ausleseschwingung wird hierbei so geregelt, dass
die Größe des in dem Auslesesignal enthaltenen Störanteils, d.h. der
Rauschanteil, möglichst klein wird.

10 Unter "Resonator" wird hierbei das gesamte in Schwingung versetzbare Mas-
sensystem des Corioliskreisels verstanden – also der mit Bezugsziffer 2 ge-
kennzeichnete Teil des Corioliskreisels. Wesentlich hierbei ist, dass die Stör-
kräfte auf den Resonator lediglich die Ausleseschwingung, nicht jedoch die
15 Anregungsschwingung ändern. Unter Bezugnahme auf Fig. 2 würde dies be-
deuten, dass die Störkräfte nur den zweiten Resonator 4 beaufschlagen,
nicht jedoch den ersten Resonator 3.

20 Eine der Erfahrung zugrunde liegende wesentliche Erkenntnis ist, dass ein
Störsignal in Form von Signalrauschen, das direkt im Ausleseschwingungs-
Abgriffssignal bzw. am Eingang der Regelkreise (Drehratenregelkreis/Qua-
draturregelkreis) auftritt, nach "Durchgang" durch die Regelkreise und den
Resonator umso stärker im Ausleseschwingungs-Abgriffssignal beobachtbar
ist, je weniger die Frequenz der Ausleseschwingung mit der Frequenz der
25 Anregungsschwingung übereinstimmt. Das Signalrauschen, das das Signal-
rauschen der Ausleseschwingungs-Abgriffselektronik bzw. der random walk
des Corioliskreisels ist, beaufschlagt nach "Durchlauf" durch die Regelkreise
die Kraftgeber und erzeugt somit entsprechende Störkräfte, die den Resona-
tor beaufschlagen und damit eine künstliche Änderung der Ausleseschwin-
30 gung hervorrufen. Die "Durchschlagsstärke" einer derartigen Störung auf
das Ausleseschwingungs-Abgriffssignal ist also ein Maß dafür, wie genau die
Frequenz der Ausleseschwingung mit der Frequenz der Anregungsschwin-
gung übereinstimmt. Wenn man also die Frequenz der Ausleseschwingung
so regelt, dass die Durchschlagsstärke ein Minimum annimmt, d.h. dass die
35 Größe des in dem Ausleseschwingungs-Abgriffssignal enthaltenen Störanteils,
d.h. des Rauschanteils, minimal wird, so ist damit gleichzeitig die Frequenz
der Ausleseschwingung auf die Frequenz der Anregungsschwingung abge-

1 stimmt.

Wie bereits erwähnt, ist das Störsignal durch niederfrequentes Drehratenrauschen des Ausleseschwingungs-Abgriffssignals bzw. der random walk des aufaddierten Drehratenwinkels gegeben. Das Störsignal wird also nicht künstlich erzeugt, sondern bereits vorhandene Störsignale (Rauschen der Ausleseschwingungs-Abgriffselektronik) genutzt. Es lässt sich zeigen, dass niederfrequentes Drehratenrauschen/der random walk des aufintegrierten Winkels bei Corioliskreiseln die doppelresonant betrieben werden, (also bei Übereinstimmung der Frequenzen von Anregungsschwingung und Ausleseschwingung), um Größenordnungen geringer als bei nicht doppelresonanten Corioliskreiseln ist. Eine genaue Analyse zeigt, dass der Reduktionsfaktor nach einer von der Güte der Ausleseschwingung abhängigen Mindestzeit der halbe Wert der Güte dieser Schwingung ist.

15

Vorteilhaft ist, dass die Störung durch das Eigenrauschen des Corioliskreisels selbst gegeben ist, also keine künstlichen Störungen/Moulationen benötigt werden. Ein weiterer Vorteil ist, dass während der Frequenzabstimmung zwischen Anregungs- und Ausleseschwingung gleichzeitig der random walk des Corioliskreisels gemessen werden kann.

Vorteilhafterweise wird hierbei der Durchgang der Störung durch den Quadraturregelkreis beobachtet, da in diesem im Gegensatz zum Drehratenregelkreis kein niederfrequentes Rauschen aufgrund der Variation der Drehgeschwindigkeit auftritt. Nachteilig ist jedoch, dass bei Benutzung des Quadraturregelkreises der Abstimmungsprozess der Frequenz der Anregungsschwingung auf die Frequenz der Ausleseschwingung relativ lange dauert. Der Störanteil (Rauschanteil) wird also vorzugsweise aus einem Signal ermittelt, das an einem Quadraturregler des Quadraturregelkreises anliegt oder von diesem ausgegeben wird. Alternativ kann der Störanteil aus einem Signal ermittelt werden, das an einem Drehratenregler des Drehratenregelkreises anliegt oder von diesem ausgegeben wird.

Die Frequenzregelung der Ausleseschwingung, d.h. die Kraftübertragung der zur Frequenzregelung nötigen Regelkräfte erfolgt hierbei durch Regelung der Stärke eines elektrischen Felds, in dem ein Teil des Resonators schwingt, wobei eine elektrische Anziehungskraft zwischen dem Resonator und einem

1 den Resonator umgebenden rahmenfesten Gegenstück vorzugsweise nichtlinear ist.

5 Die Erfindung stellt weiterhin einen Corioliskreisel bereit, der gekennzeichnet ist durch eine Einrichtung zur elektronischen Abstimmung der Frequenz der Ausleseschwingung auf die Frequenz der Anregungsschwingung. Die Einrichtung zum elektronischen Abstimmen weist hierbei auf:

10 eine Rauschdetektiereinheit, die den Rauschanteil eines Auslesesignals, das die Ausleseschwingung repräsentiert, ermittelt, und eine Regeleinheit, die die Frequenz der Ausleseschwingung so regelt, dass die Größe des in dem Auslesesignal enthaltenen Rauschanteils möglichst klein wird.

15 Vorzugsweise ermittelt die Rauschdetektiereinheit den Rauschanteil aus einem Signal, das an einem Quadraturregler eines Quadraturregelkreises des Corioliskreisels anliegt oder von diesem ausgegeben wird. Eine weitere Alternative ist, den Rauschanteil aus einem Signal zu ermitteln, das an einem Drehratenregler eines Drehratenregelkreises des Corioliskreisels anliegt oder von diesem ausgegeben wird. In einer weiteren Alternative ermittelt die 20 Rauschdetektiereinheit den Rauschanteil aus einem Ausleseschwingungs-Abgriffssignal, das durch einen Ausleseschwingungsabgriff erzeugt wird. Der Begriff "Auslesesignal" beinhaltet alle in diesem Abschnitt angeführten Signale.

25 Im Folgenden wird unter Bezugnahme auf die begleitenden Figuren die Erfindung in beispielweiser Ausführungsform näher erläutert. Es zeigen:

30 **Figur 1** den schematischen Aufbau eines Corioliskreisels, der auf dem erfindungsgemäßen Verfahren basiert;

Figur 2 den schematischen Aufbau eines herkömmlichen Corioliskreisels.

35 Zunächst wird unter Bezugnahme auf Figur 1 das erfindungsgemäße Verfahren in beispielweiser Ausführungsform näher erläutert. Dabei sind Teile bzw. Einrichtungen, die denen aus Figur 2 entsprechen, mit den selben Bezugssymbolen gekennzeichnet und werden nicht nochmals erläutert.

1 Ein Corioliskreisel 1' ist zusätzlich mit einer Rauschdetektiereinheit 26 und
einem Ausleseschwingungs-Frequenzregler 27 versehen.

Das Signalrauschen (Eigenrauschen) der Ausleseschwingungs-Abgriffselektronik (hier durch Bezugszeichen 6 angedeutet) erzeugt ein Störsignal im Ausleseschwingungs-Abgriffssignal (Auslesesignal), das den beiden Regelkreisen (Quadraturregelkreis/Drehratenregelkreis) zugeführt wird. Nach Durchgang durch die Regelkreise beaufschlagt das Störsignal einen zweiten und dritten Modulator 18, 22, deren entsprechende Ausgabesignale jeweils einen Kraftgeber (nicht gezeigt) und damit den Resonator 2 beaufschlagen. Sofern die Frequenz der Ausleseschwingung nicht im Wesentlichen mit der Frequenz der Anregungsschwingung übereinstimmt, wird das Störsignal nach "Durchgang" durch den Resonator 2 in Form eines Störanteils des Ausleseschwingungs-Abgriffsignals beobachtet. Das Störsignal (Eigenrauschen) wird nun durch die Rauschdetektiereinheit 26 ermittelt, indem das Ausleseschwingungs-Abgriffssignal bzw. eines der Signale, die an dem Quadraturregler 17/ Drehratenregler 21 anliegen oder von diesen ausgegeben werden (hier: Signal, das am Quadraturregler 17 anliegt), abgegriffen wird und der Rauschanteil extrahiert wird. Somit ist der Störanteil ermittelt. Ein Ausgangssignal der Rauschdetektiereinheit 26 wird dem Ausleseschwingungs-Frequenzregler 27 zugeführt, der in Abhängigkeit davon die Frequenz der Ausleseschwingung so einstellt, dass das Ausgangssignal der Rauschdetektiereinheit 26, d.h. die Stärke des beobachteten Störanteils, minimal wird. Ist ein derartiges Minimum erreicht, so stimmen die Frequenzen von Anregungsschwingung und Ausleseschwingung im Wesentlichen überein.

Bei einem zweiten alternativen Verfahren zur elektronischen Abstimmung der Frequenz der Ausleseschwingung auf die Frequenz der Anregungsschwingung in einem Corioliskreisel wird der Resonator des Corioliskreisels mittels einer Störkraft so beaufschlagt, dass a) die Anregungsschwingung im Wesentlichen unbeeinflusst bleibt, und b) die Ausleseschwingung so geändert wird, dass ein die Ausleseschwingung repräsentierendes Auslesesignal einen entsprechenden Störanteil enthält, wobei die Frequenz der Ausleseschwingung so geregelt wird, dass die Größe des in dem Auslesesignal enthaltenden Störanteils möglichst klein wird.

Eine dem zweiten alternativen Verfahren zugrunde liegende wesentliche Er-

- 1 kenntnis ist, dass eine künstliche Änderung der Ausleseschwingung im Drehraten- oder Quadraturkanal um so stärker insbesondere im jeweils dazu orthogonalen Kanal sichtbar ist, je weniger die Frequenz der Ausleseschwingung mit der Frequenz der Anregungsschwingung übereinstimmt. Die
- 5 "Durchschlagsstärke" einer derartigen Störung auf das Ausleseschwingungs-Abgriffssignal (insbesondere auf den orthogonalen Kanal) ist also ein Maß dafür, wie genau die Frequenz der Ausleseschwingung mit der Frequenz der Anregungsschwingung übereinstimmt. Wenn man also die Frequenz der Ausleseschwingung so regelt, dass die Durchschlagsstärke ein Minimum annimmt, d.h. dass die Größe des in dem Ausleseschwingungs-Abgriffssignal enthaltenen Störanteils minimal wird, so ist damit gleichzeitig die Frequenz der Ausleseschwingung auf die Frequenz der Anregungsschwingung im Wesentlichen abgestimmt.
- 10
- 15 Bei einem dritten alternativen Verfahren zur elektronischen Abstimmung der Frequenz der Ausleseschwingung auf die Frequenz der Anregungsschwingung in einem Corioliskreisel wird der Resonator des Corioliskreisels mittels einer Störkraft so beaufschlagt, dass a) die Anregungsschwingung im Wesentlichen unbeeinflusst bleibt, und b) die Ausleseschwingung so geändert wird, dass ein die Ausleseschwingung repräsentierendes Auslesesignal einen entsprechenden Störanteil enthält, wobei die Frequenz der Ausleseschwingung so geregelt wird, dass eine Phasenverschiebung zwischen einem Störsignal, das die Störkraft erzeugt, und dem im Auslesesignal enthaltenen Störanteil möglichst klein wird.
- 20
- 25 Unter "Resonator" wird hierbei das gesamte in Schwingung versetzbare Massensystem (oder ein Teil davon) des Corioliskreisels verstanden – also der mit Bezugsziffer 2 gekennzeichnete Teil des Corioliskreisels.
- 30 Eine dem dritten alternativen Verfahren zugrunde liegende wesentliche Erkenntnis ist, dass die "Durchlaufzeit" einer Störung, also einer künstlichen Änderung der Ausleseschwingung durch Beaufschlagen des Resonators mit entsprechenden Störkräften, durch den Resonator; d. h. die Zeit, die ab dem Wirken der Störung am Resonator bis zum Abgriff der Störung als Teil des Auslesesignals verstreicht, von der Frequenz der Ausleseschwingung abhängt. Damit ist die Verschiebung zwischen der Phase des Störsignals und der Phase des in dem Auslesesignal enthaltenen Störanteilsignals ein Maß
- 35

- 10 -

- 1 für die Frequenz der Ausleseschwingung. Es lässt sich zeigen, dass die Phasenverschiebung ein Minimum annimmt, wenn die Frequenz der Ausleseschwingung mit der Frequenz der Anregungsschwingung im Wesentlichen übereinstimmt. Wenn man daher die Frequenz der Ausleseschwingung so regelt, dass die Phasenverschiebung ein Minimum annimmt, so ist damit gleichzeitig die Frequenz der Ausleseschwingung auf die Frequenz der Anregungsschwingung im Wesentlichen abgestimmt.

Das zuerst beschriebene erfindungsgemäße Verfahren zur elektronischen Abstimmung der Ausleseschwingungsfrequenz kann mit dem zweiten alternativen Verfahren und/oder dem dritten alternativen Verfahren beliebig kombiniert werden. Beispielsweise ist es möglich, bei Inbetriebnahme des Corioliskreisels das zweite alternative Verfahren anzuwenden (schnelles Einschwingverhalten), und anschließend das zuerst beschriebene Verfahren (langsamer Regelprozess) im eingeschwungenen Betrieb anzuwenden. Konkrete technische Ausgestaltungen sowie weitere Details zu den Verfahren kann der Fachmann den Patentanmeldungen "Verfahren zur elektronischen Abstimmung der Ausleseschwingungsfrequenz eines Corioliskreisels", LTF-190-DE und LTF-191-DE desselben Anmelders entnehmen, in denen jeweils das zweite alternative Verfahren bzw. das dritte alternative Verfahren beschrieben sind. Der gesamte Inhalt der Patentanmeldungen LTF-190-DE/LTF-191-DE sei hiermit in die Beschreibung mit aufgenommen.

25

30

35

1

P a t e n t a n s p r ü c h e

1. Verfahren zur elektronischen Abstimmung der Frequenz der Ausleseschwingung auf die Frequenz der Anregungsschwingung in einem rückstellenden Corioliskreisel (1'), wobei
 - der Resonator (2) des Corioliskreisels (1') mittels einer Störkraft so beauschlagt wird, dass
 - a) die Anregungsschwingung im Wesentlichen unbeeinflusst bleibt, und
 - b) die Ausleseschwingung so geändert wird, dass ein die Ausleseschwingung repräsentierendes Auslesesignal einen entsprechenden Störanteil enthält, wobei
 - die Störkraft definiert ist als diejenige Kraft, die durch das Signalrauschen im Auslesesignal hervorgerufen wird, und
 - die Frequenz der Ausleseschwingung so geregelt wird, dass die Größe des in dem Auslesesignal enthaltenen Störanteils möglichst klein wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Signalrauschen das Rauschen der Abgriffselektronik ist.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Störanteil aus einem Signal ermittelt wird, das an einem Quadraturregler (17) des Quadraturregelkreises anliegt oder von diesem ausgegeben wird.
4. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Störanteil aus einem Signal ermittelt wird, das an einem Drehratenregler (21) des Drehratenregelkreises anliegt oder von diesem ausgegeben wird.
5. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Frequenzregelung der Ausleseschwingung durch Regelung der Stärke eines elektrischen Felds erfolgt, in dem ein Teil des Resonators (2) des Corioliskreisels (1') schwingt.
6. Corioliskreisel (1'), **gekennzeichnet durch** eine Einrichtung zur elektronischen Abstimmung der Frequenz der Ausleseschwingung auf die Frequenz der Anregungsschwingung, mit:
 - einer Rauschdetektoreinheit (26), die den Rauschanteil eines Auslese-

- 12 -

1 signals, das die Ausleseschwingung repräsentiert, ermittelt, und
- einer Regeleinheit (27), die die Frequenz der Ausleseschwingung so
regelt, dass die Größe des in dem Auslesesignal enthaltenen Rauschanteils
möglichst klein wird.

5

7. Corioliskreisel (1') nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass
die Rauschdetektiereinheit (26) den Rauschanteil aus einem Signal ermit-
telt, das an einem Drehratenregler (21) eines Drehratenregelkreises des Co-
rioliskreisels (1') anliegt oder von diesem ausgegeben wird.

10

8. Corioliskreisel (1') nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass
die Rauschdetektiereinheit (26) den Rauschanteil aus einem Signal ermit-
telt, das an einem Quadraturregler (21) eines Quadraturregelkreises des
Corioliskreisels (1') anliegt oder von diesem ausgegeben wird.

15

20

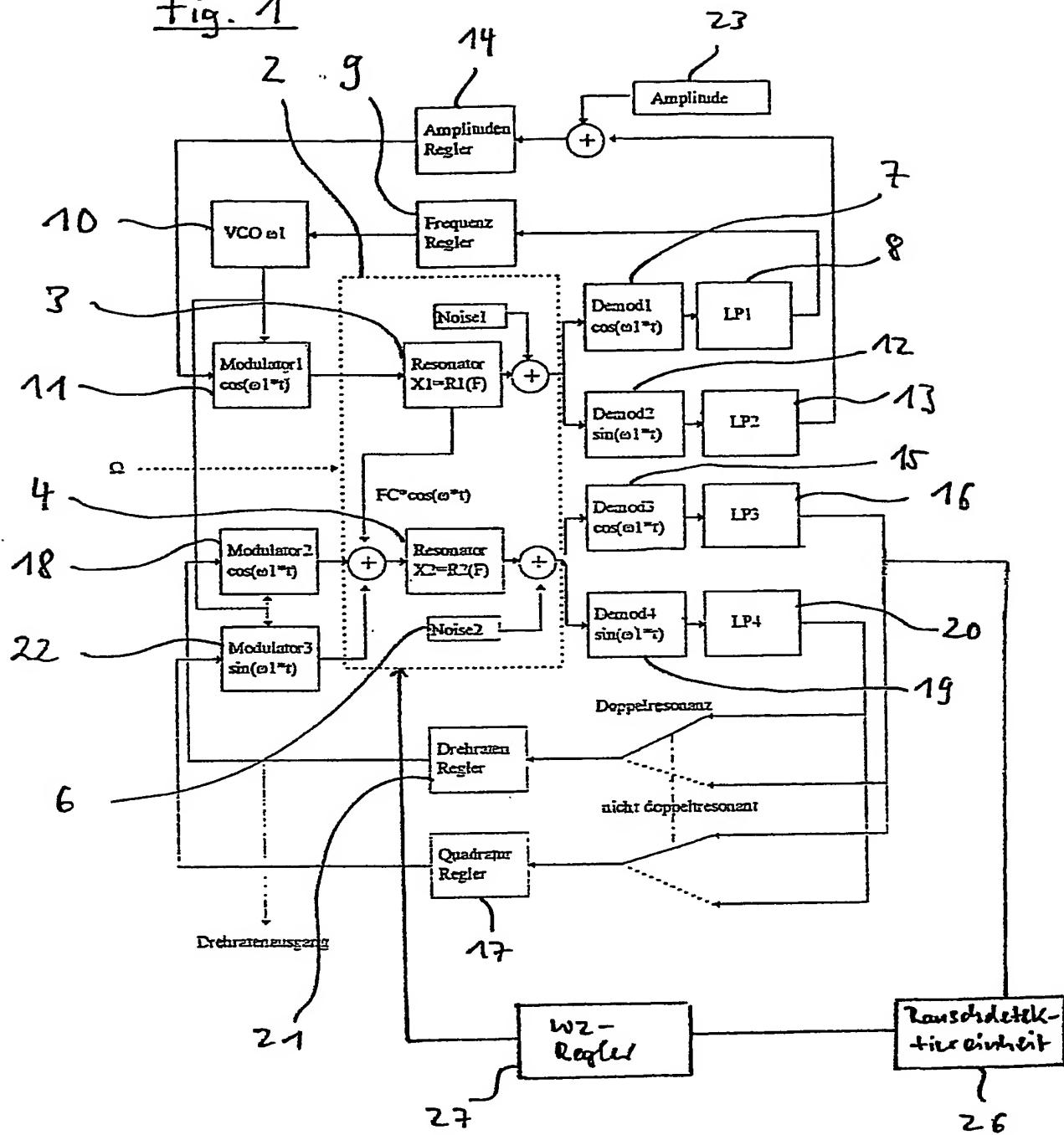
25

30

35

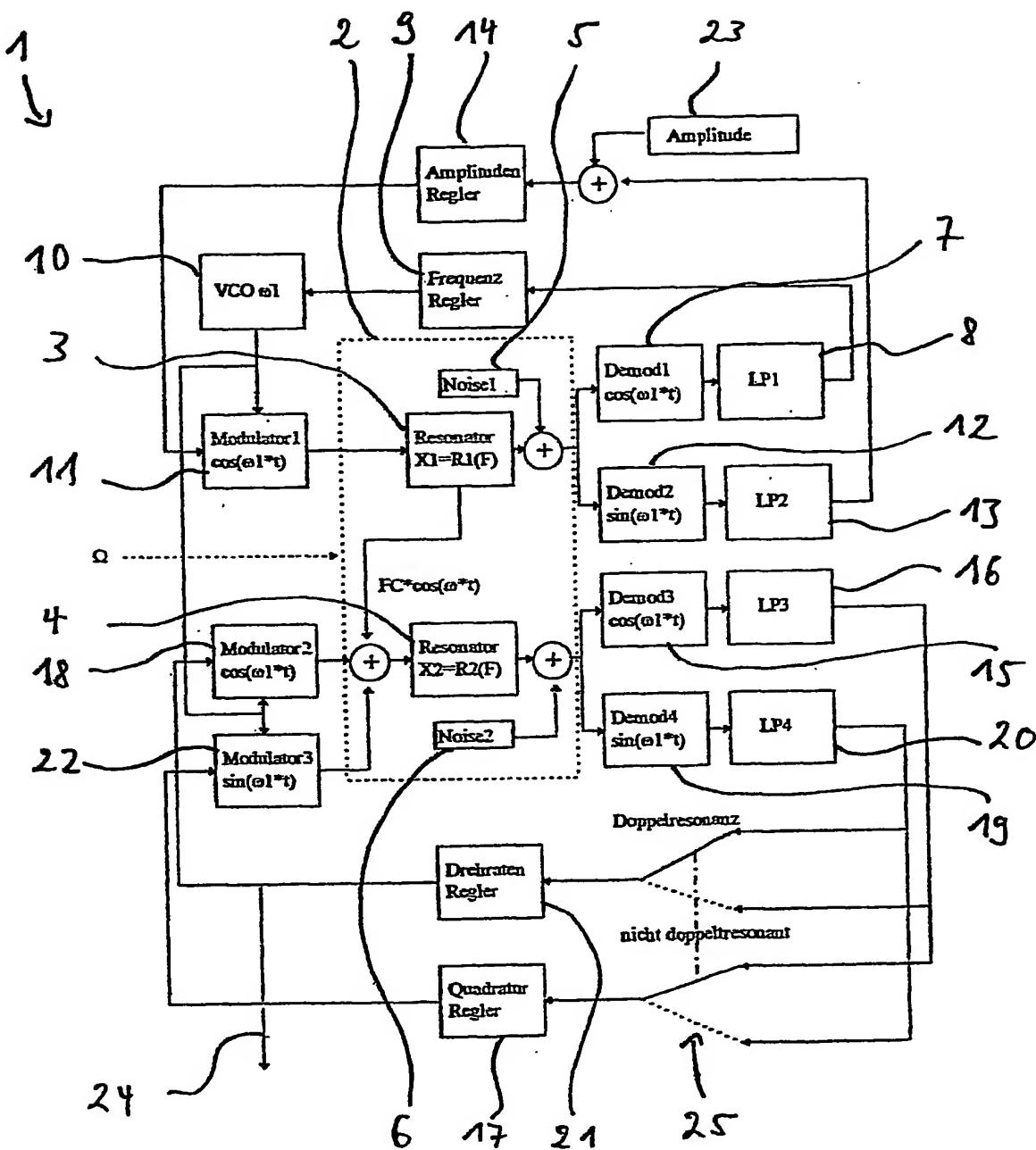
1/2

Fig. 1



2/2

Fig. 2



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/EP 03/11090A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 7 G01C19/56

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
IPC 7 G01C G01P

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the International search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT.

Category °	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 97/45699 A (UNIV CALIFORNIA) 4 December 1997 (1997-12-04) page 14, line 10 – page 19, line 18 page 24, line 1 – page 31, line 18 page 34, line 3 – line 20; figures 1,2,7A,7B,7C,12 -----	1-16
A	WO 99/19734 A (IRVINE SENSORS CORP) 22 April 1999 (1999-04-22) page 4, line 2 – page 5, line 26 page 7, line 25 – page 8, line 4; figure 1 -----	1-16

 Further documents are listed in the continuation of box C.

Patent family members are listed in annex.

° Special categories of cited documents :

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier document but published on or after the International filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the International filing date but later than the priority date claimed

- "T" later document published after the International filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the International search

12 February 2004

Date of mailing of the International search report

02/03/2004

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Springer, O

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/EP 03/11090

Patent document cited in search report	Publication date		Patent family member(s)	Publication date
WO 9745699	A 04-12-1997	US	5992233 A	30-11-1999
		AU	3474497 A	05-01-1998
		EP	0902876 A1	24-03-1999
		JP	2002515976 T	28-05-2002
		WO	9745699 A2	04-12-1997
		US	6296779 B1	02-10-2001
		US	6250156 B1	26-06-2001
		US	6067858 A	30-05-2000
WO 9919734	A 22-04-1999	EP	1023607 A2	02-08-2000
		JP	2001520385 T	30-10-2001
		WO	9919734 A2	22-04-1999
		US	6089089 A	18-07-2000
		US	6578420 B1	17-06-2003

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

A. KLASIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
IPK 7 G01C19/56

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchiertes Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der Internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	WO 97/45699 A (UNIV CALIFORNIA) 4. Dezember 1997 (1997-12-04) Seite 14, Zeile 10 – Seite 19, Zeile 18 Seite 24, Zeile 1 – Seite 31, Zeile 18 Seite 34, Zeile 3 – Zeile 20; Abbildungen 1,2,7A,7B,7C,12 -----	1-16
A	WO 99/19734 A (IRVINE SENSORS CORP) 22. April 1999 (1999-04-22) Seite 4, Zeile 2 – Seite 5, Zeile 26 Seite 7, Zeile 25 – Seite 8, Zeile 4; Abbildung 1 -----	1-16

Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

Siehe Anhang Patentfamilie

- Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :
 - "A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
 - "E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem Internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
 - "L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
 - "O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
 - "P" Veröffentlichung, die vor dem Internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist
 - "T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem Internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist
 - "X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erforderlicher Tätigkeit beruhend betrachtet werden
 - "Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erforderlicher Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist
 - "&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der Internationalen Recherche 12. Februar 2004	Absendedatum des Internationalen Recherchenberichts 02/03/2004
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL – 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016	Bevollmächtigter Bediensteter Springer, O

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP 03/11090

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung		Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
WO 9745699	A 04-12-1997	US	5992233 A	30-11-1999
		AU	3474497 A	05-01-1998
		EP	0902876 A1	24-03-1999
		JP	2002515976 T	28-05-2002
		WO	9745699 A2	04-12-1997
		US	6296779 B1	02-10-2001
		US	6250156 B1	26-06-2001
		US	6067858 A	30-05-2000
WO 9919734	A 22-04-1999	EP	1023607 A2	02-08-2000
		JP	2001520385 T	30-10-2001
		WO	9919734 A2	22-04-1999
		US	6089089 A	18-07-2000
		US	6578420 B1	17-06-2003